

INTRODUCCIÓN A LA NEUROCIENCIA

LA MIELINIZACIÓN EN LA VELOCIDAD DE CONDUCCIÓN DEL SISTEMA NERVIOSA.

Dr. Ricardo A. Machado García

MARZO - 2025



LA MIELINIZACIÓN EN LA VELOCIDAD DE CONDUCCIÓN DEL SISTEMA NERVIOSA

NEUROCIENCIA Y SU RELACIÓN CON LA CONDUCCIÓN NERVIOSA

- La neurociencia es el estudio del sistema nervioso, incluyendo su estructura, función y desarrollo.
- Uno de sus pilares fundamentales es la conducción nerviosa, es decir, el proceso mediante el cual las neuronas transmiten señales eléctricas y químicas para coordinar todas las funciones del cuerpo.
- La conducción nerviosa es crucial para la percepción sensorial, el control del movimiento, el procesamiento cognitivo y las respuestas emocionales.
- La velocidad de esta conducción depende de factores como el diámetro del axón y la presencia de mielina.



ORGANIZACIÓN DEL SISTEMA NERVIOSO: SNC Y SNP

SISTEMA NERVIOSO CENTRAL (SNC)

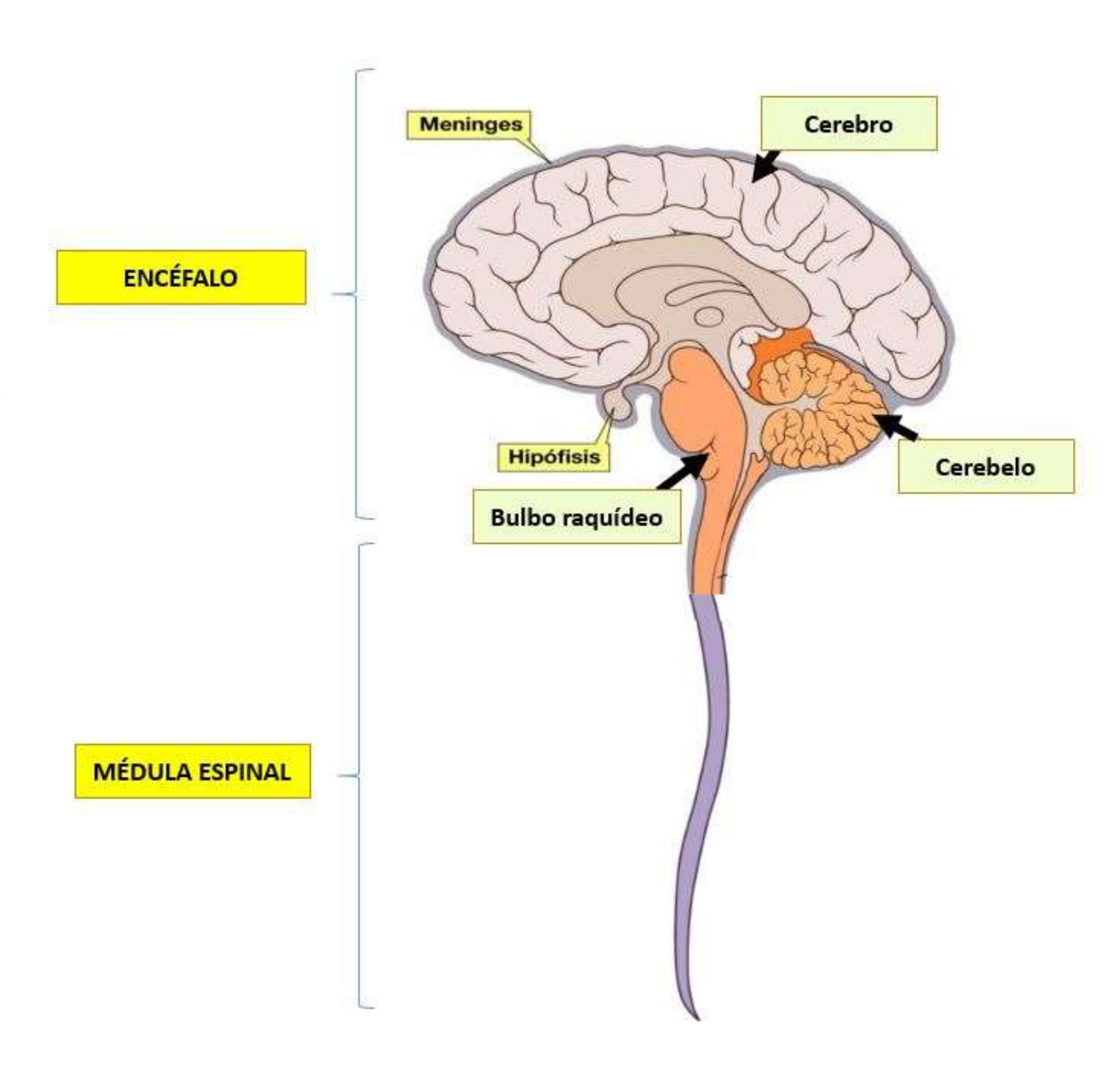
El SNC está compuesto por el cerebro y la médula espinal. Su función principal **es el procesamiento, integración y coordinación de la información sensorial y motora.**

ESTRUCTURA DEL SNC

Cerebro: Controla funciones cognitivas, motoras, emocionales y sensoriales. Se divide en:

- **Corteza cerebral**: Responsable del pensamiento, la memoria, el **lenguaje y el control motor.**
- **Cerebelo**: Regula la coordinación del movimiento y el equilibrio.
- **Tronco encefálico**: Conecta **el cerebro con la médula espinal y controla funciones vitales como la respiración y el ritmo cardíaco.**

Médula espinal: Actúa como **un canal de comunicación entre el cerebro y el resto del cuerpo, transmitiendo señales motoras y sensoriales. También controla reflejos espinales involuntarios.**



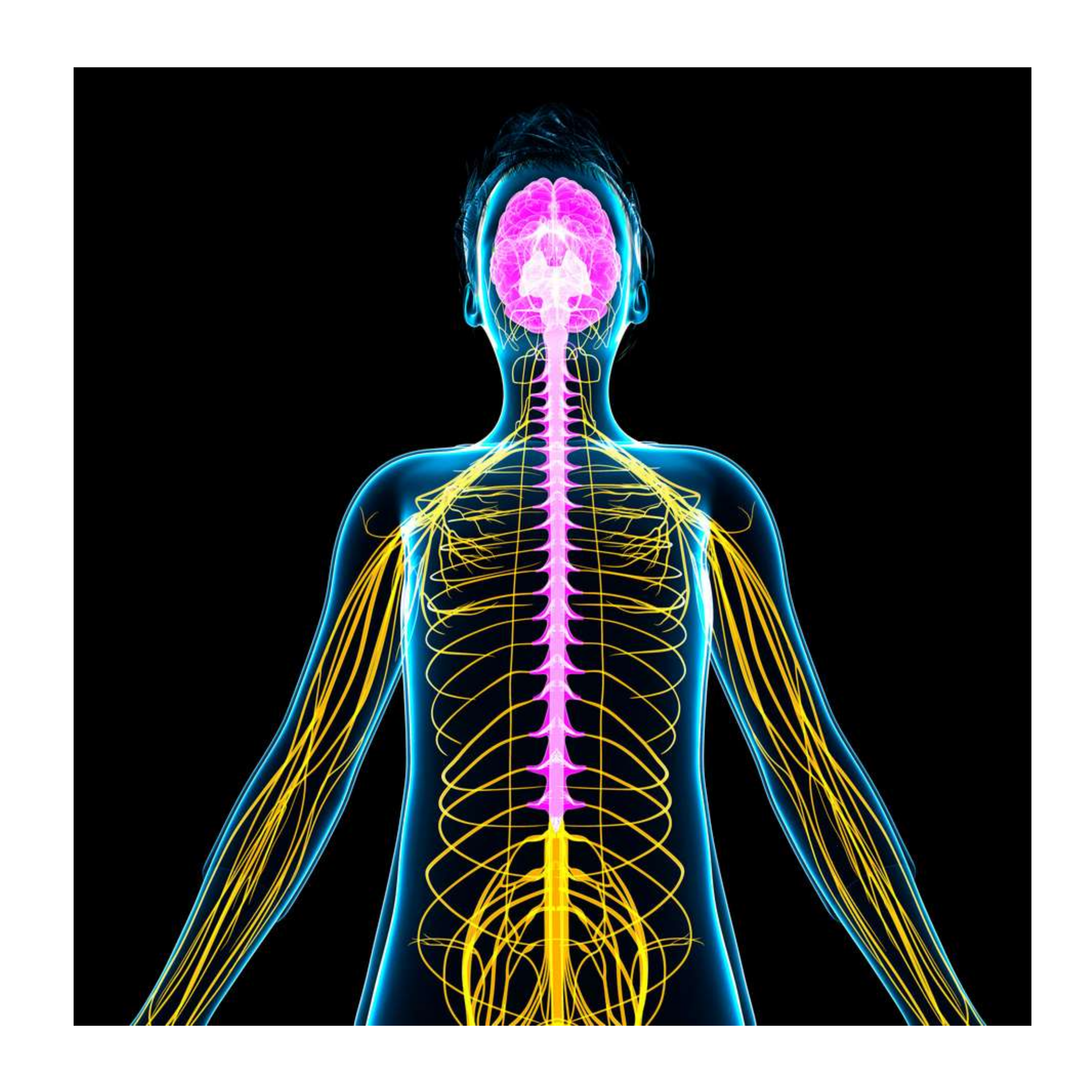
ORGANIZACIÓN DEL SISTEMA NERVIOSO: SNC Y SNP

SISTEMA NERVIOSO PERIFÉRICO (SNP)

El SNP está compuesto por todos los nervios y ganglios sitUADos fuera del SNC. Su función es conectar el cerebro y la médula espinal con los órganos, músculos y glándulas.

DIVISIÓN DEL SNP

1. **SISTEMA NERVIOSO SOMÁTICO (SNS)**
   - Controla funciones voluntarias, como el movimiento de los músculos esqueléticos.
   - Incluye nervios sensoriales (que llevan información del entorno al SNC) y nervios motores (que transmiten órdenes del SNC a los músculos).
2. **SISTEMA NERVIOSO AUTÓNOMO (SNA)**
   - Regula funciones involuntarias como la frecuencia cardíaca, la digestión y la respiración.
     - Simpático: Activa la respuesta de "lucha o huida", aumentando el ritmo cardíaco y la presión arterial en situaciones de estrés.
     - Parasimpático: Promueve la relajación y la recuperación, reduciendo la frecuencia cardíaca y favoreciendo la digestión.

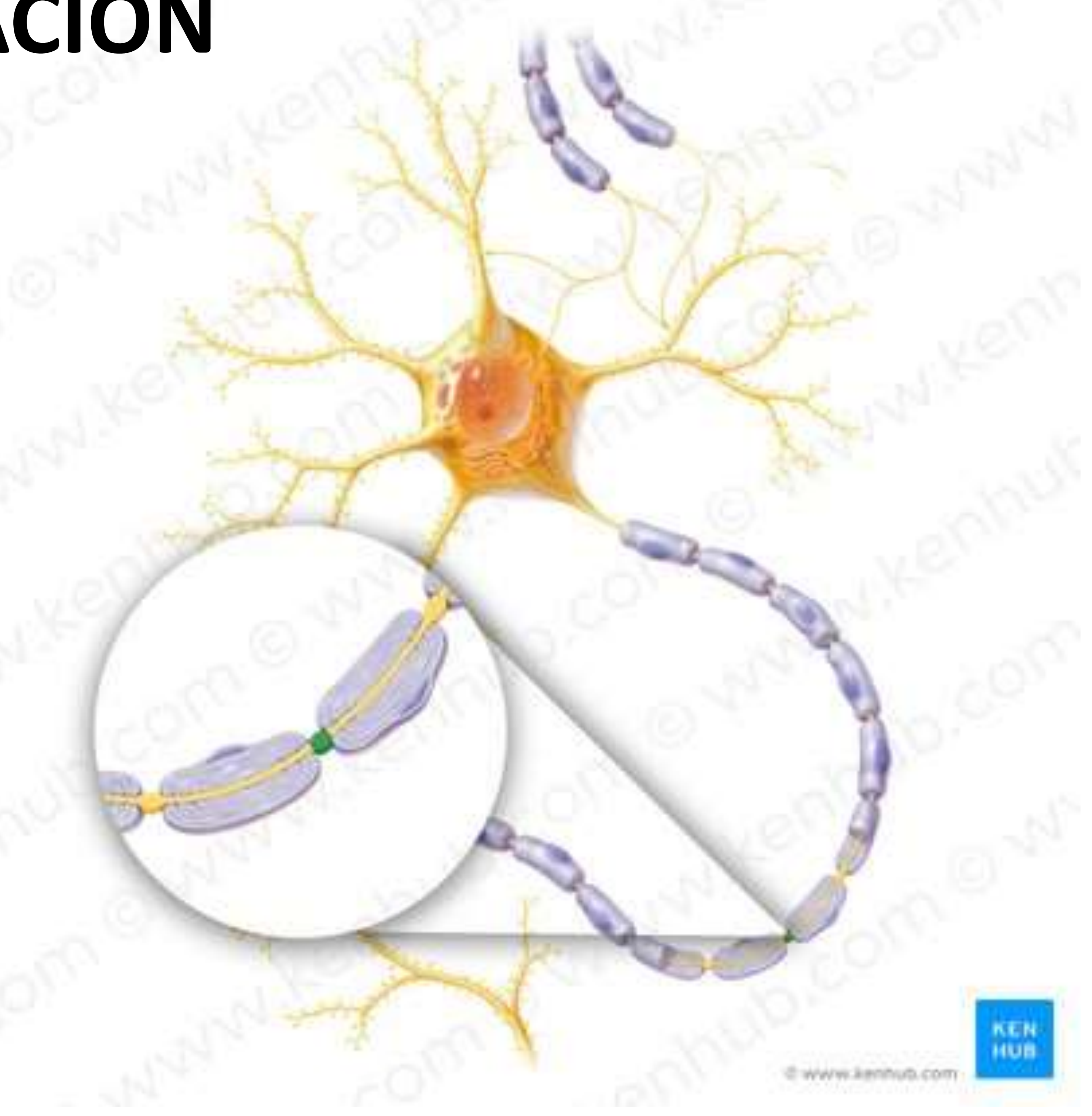


	SISTEMA NERVIOSO CENTRAL (SNC)	SISTEMA NERVIOSO PERIFÉRICO (SNP)
COMPONENTES	Cerebro y médula espinal	Nervios y ganglios periféricos
FUNCIÓN PRINCIPAL	Procesamiento e integración de la información, control de funciones motoras y cognitivas	Conectar el SNC con el resto del cuerpo, transmitiendo señales sensoriales y motoras
TIPO DE CÉLULAS GLIALES RESPONSABLES DE LA MIELINIZACIÓN	Oligodendrocitos	Células de Schwann
PROTECCIÓN	Está protegido por el cráneo, las vértebras y las meninges	No tiene una estructura ósea protectora, pero está rodeado por tejido conjuntivo
DIVISIONES	No tiene subdivisiones dentro del SNC	Se divide en el Sistema Nervioso Somático (SNS) (control voluntario) y el Sistema Nervioso Autónomo (SNA) (control involuntario)
TIPO DE CONDUCCIÓN NERVIOSA	Mayormente interna (procesa información)	Conducción hacia y desde el SNC
EJEMPLO DE FUNCIÓN	Controlar el pensamiento, la memoria y la respuesta refleja	Transmitir la sensación de calor al tocar una superficie caliente y enviar la orden de retirar la mano

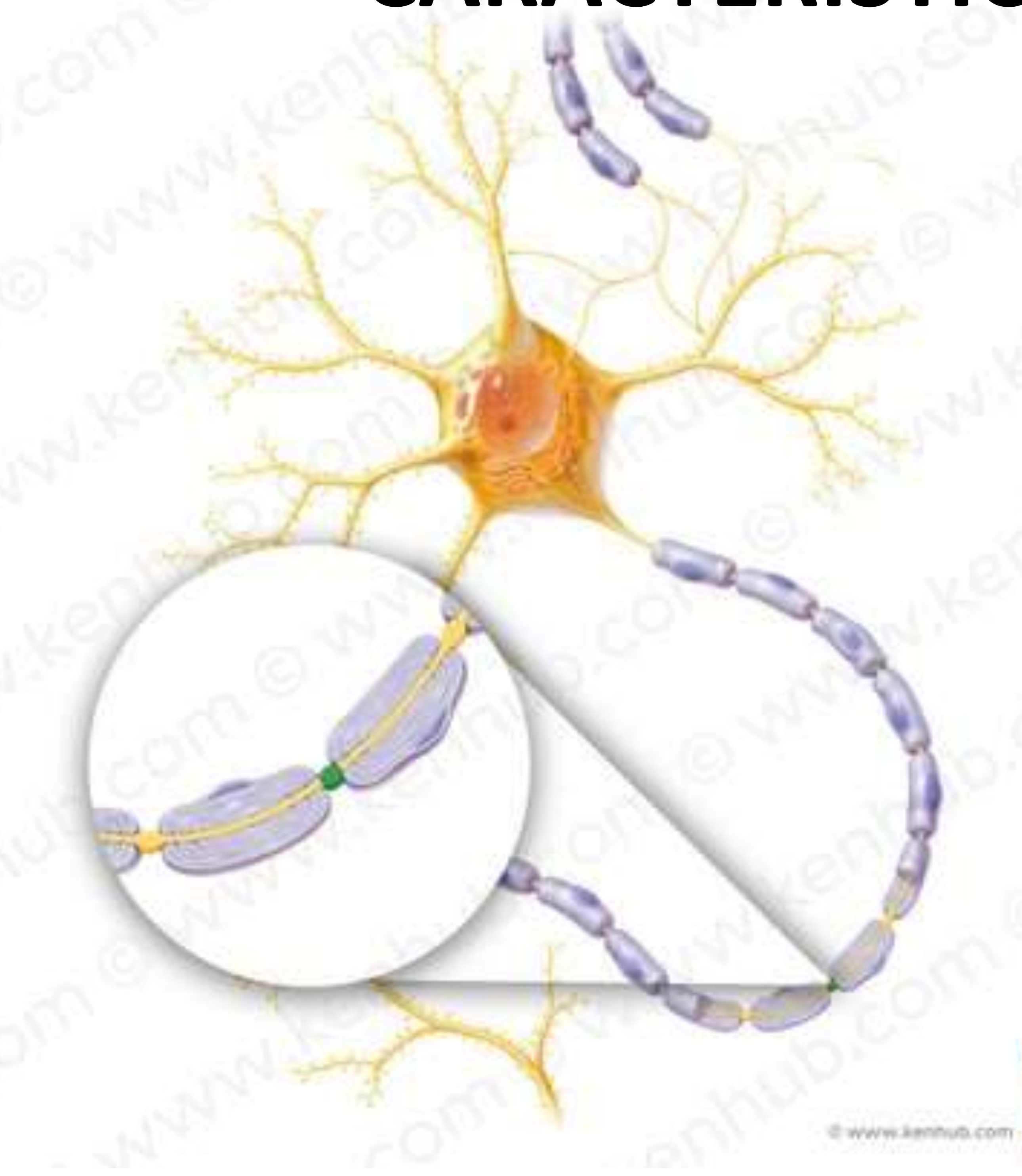
MIELINIZACIÓN

La mielinización es el proceso mediante el cual se forma la vaina de mielina alrededor de los axones de las neuronas.

La mielina es una sustancia lipídica y proteica que actúa como un aislante eléctrico, permitiendo que la transmisión de los impulsos nerviosos sea más rápida y eficiente.



CARACTERÍSTICAS DE LA MIELINIZACIÓN



Función principal: Acelerar la conducción del impulso nervioso a través de la conducción saltatoria, donde el potencial de acción "salta" de un nodo de Ranvier a otro.

Estructura de la vaina de mielina: Está formada por múltiples capas de membranas celulares compactadas que envuelven el axón.

Segmentación: La mielina no cubre todo el axón de forma continua; hay interrupciones llamadas nodos de Ranvier, donde se concentran los canales iónicos para la propagación del potencial de acción.

COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA MIELINIZACIÓN

La mielina está **compuesta principalmente por lípidos y proteínas,** en **diferentes proporciones dependiendo de si pertenece al SNC o al SNP.**

Lípidos (70-80%)

- **Fosfolípidos** (ej. fosfatidilcolina y fosfatidilserina)
- **Colesterol** (esencial para la compactación de la mielina)
- **Glicolípidos** como la galactocerebrósida

Proteínas (20-30%)

- **Proteína Básica de la Mielina** (MBP): Importante para la compactación de las capas de mielina en el SNC.
- **Proteína Proteolipídica (PLP):** Exclusiva del SNC y fundamental para la estabilidad de la mielina.
- **Glicoproteína de la Mielina del SNP** (P0): Proteína clave en la mielina del SNP.

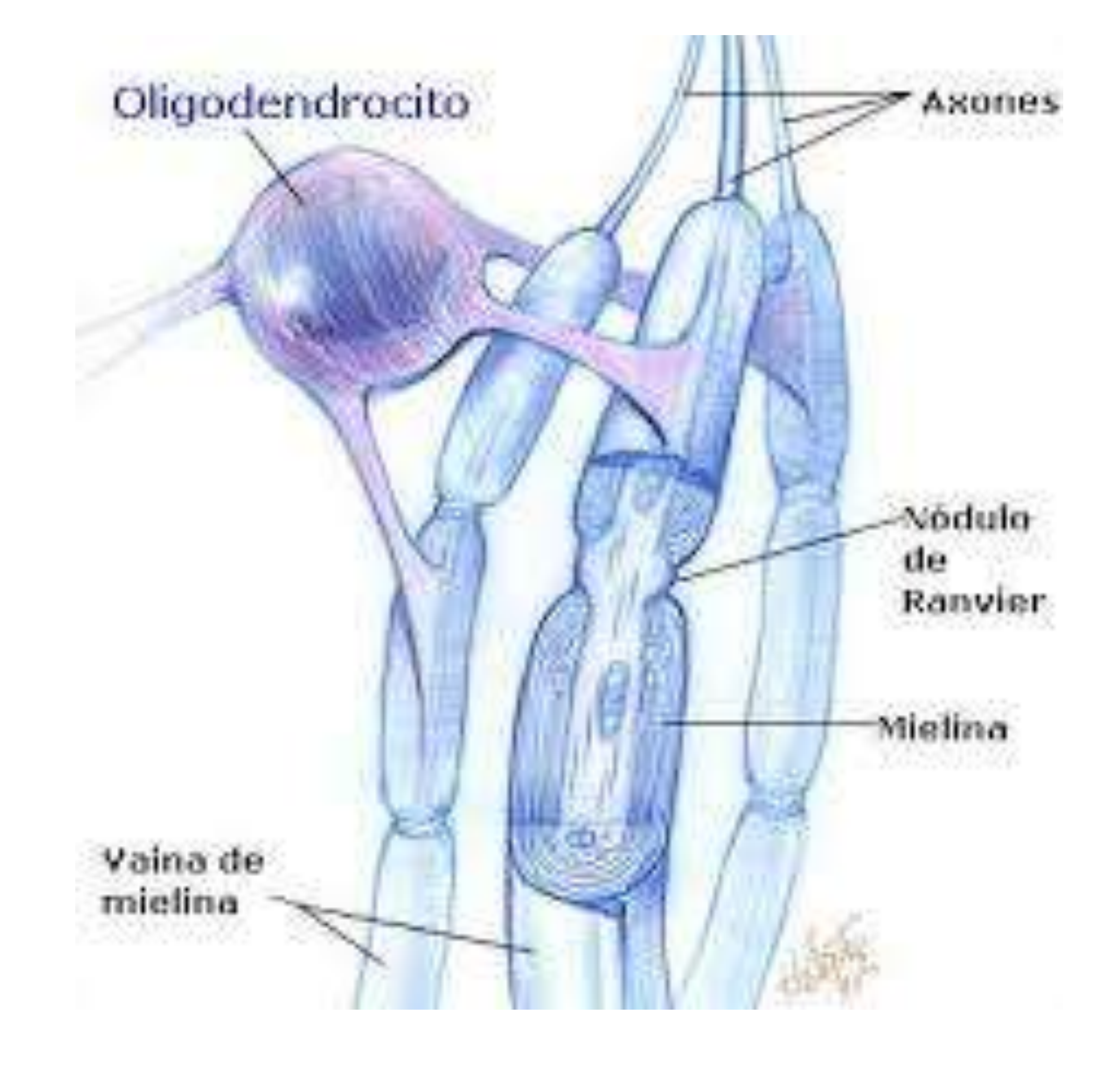
	SNC	SNP
CÉLULAS RESPONSABLES	Oligodendrocitos	Células de Schwann
NÚMERO DE AXONES MIELINIZADOS POR CÉLULA	Cada oligodendrocito mieliniza varios axones	Cada célula de Schwann mieliniza solo un segmento de un axón
PROTEÍNAS ESPECÍFICAS	MBP, PLP	P0, MBP, PMP22
REGENERACIÓN	Baja capacidad regenerativa	Mayor capacidad regenerativa

CÉLULAS RESPONSABLES DE LA MIELINIZACIÓN

La mielinización en el sistema nervioso es llevada a cabo por dos tipos principales de células gliales: los oligodendrocitos en el SNC y las células de Schwann en el SNP. Estas células no solo forman la vaina de mielina, sino que también participan en **su mantenimiento, reparación** y, en el caso de las **células de Schwann, en la regeneración axonal tras una lesión.**

OLIGODENDROCITOS EN EL SISTEMA NERVIOSO CENTRAL (SNC)

Los oligodendrocitos son células de la glía especializadas en la producción de mielina en el SNC. Se originan a partir de precursores llamados progenitores de oligodendrocitos y maduran para formar mielina alrededor de los axones.



CÉLULAS RESPONSABLES DE LA MIELINIZACIÓN

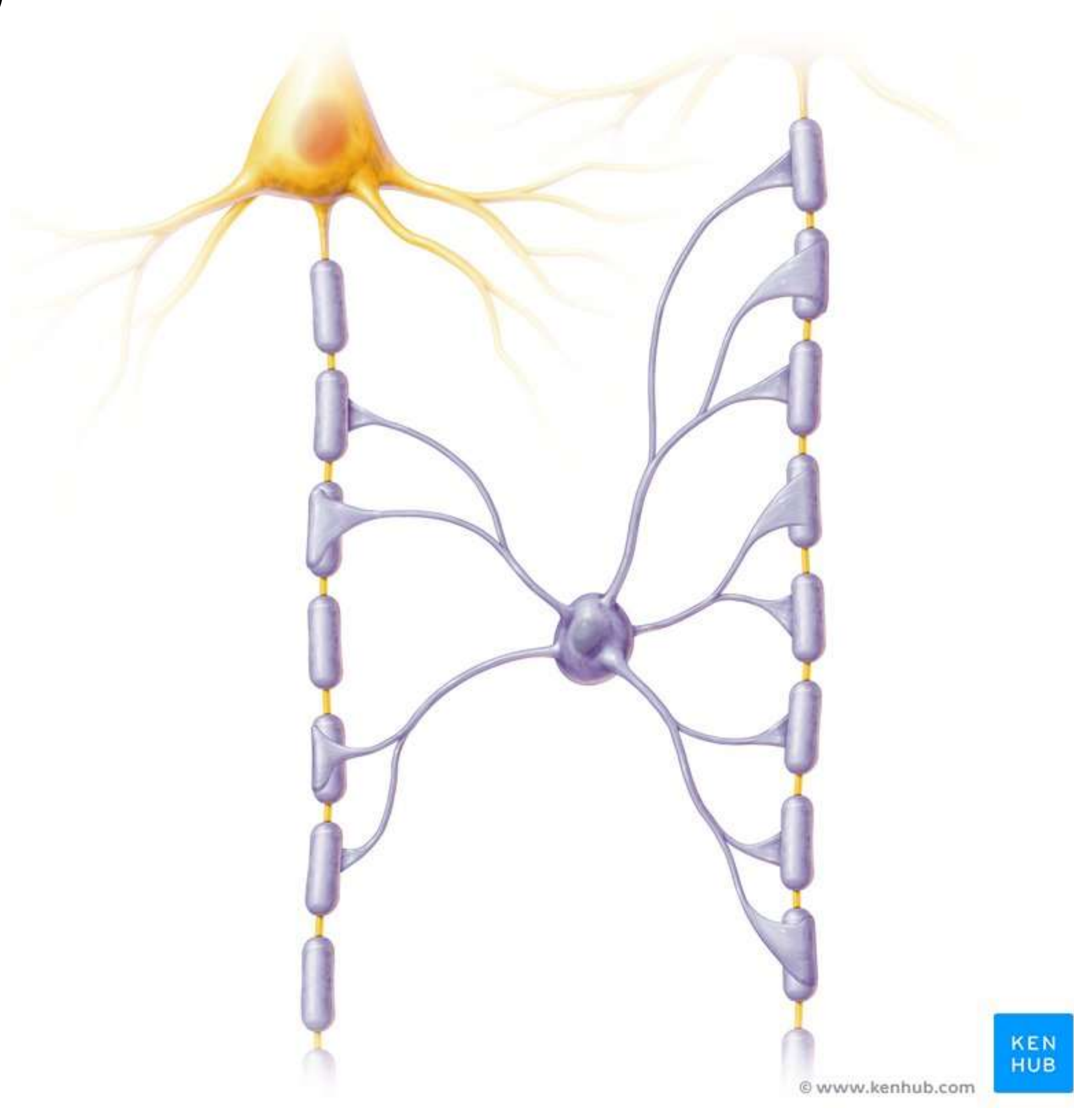
OLIGODENDROCITOS EN EL SISTEMA NERVIOSO CENTRAL (SNC)

CARACTERÍSTICAS

- **Mielinizan múltiples axones a la vez**, a diferencia de las células de Schwann, que solo mielinizan un segmento de un axón.
- **Tienen extensiones citoplasmáticas** que se enrollan alrededor de los axones para formar la vaina de mielina.
- **Intervienen en la plasticidad neuronal**, ayudando a regular la comunicación entre neuronas.
- Son metabólicamente activos, ya que proporcionan soporte energético a las neuronas mediante la transferencia de metabolitos.

FUNCIÓN EN EL SNC:

- Aseguran la conducción saltatoria del impulso nervioso.
- Contribuyen a la homeostasis del microambiente neuronal.
- Su disfunción está relacionada con enfermedades neurodegenerativas como la esclerosis múltiple, donde el sistema inmunológico ataca la mielina del SNC.



CÉLULAS RESPONSABLES DE LA MIELINIZACIÓN

CÉLULAS DE SCHWANN EN EL SISTEMA NERVIOSO PERIFÉRICO (SNP)

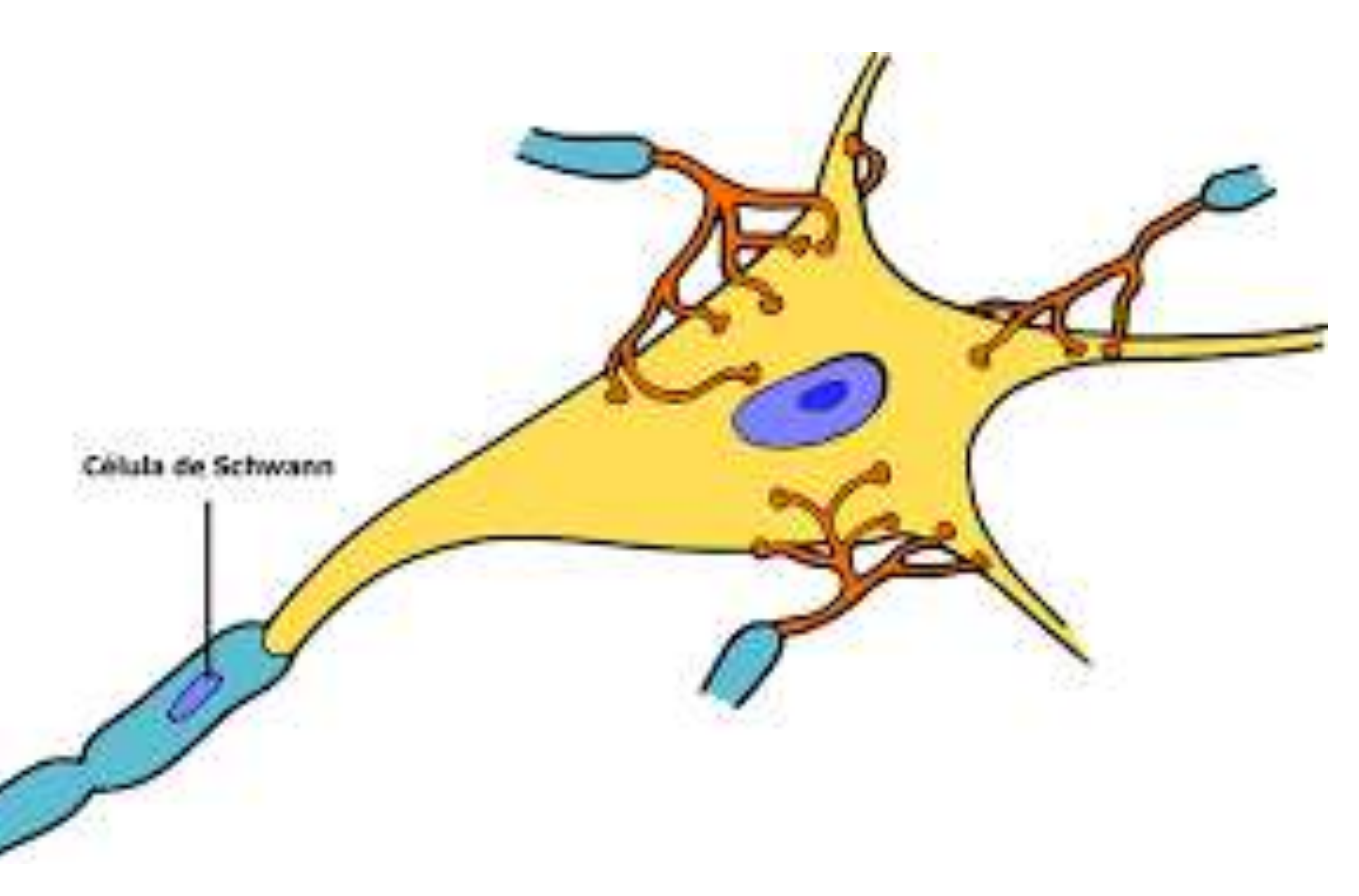
CARACTERÍSTICAS

Existen dos tipos:

- **Células de Schwann mielinizantes: Forman la vaina de mielina alrededor de axones grandes.**
- Células de Schwann no mielinizantes: Acompañan axones pequeños sin formar mielina, pero brindan soporte estructural.

- Cada célula mieliniza solo un segmento del axón, a diferencia de los oligodendrocitos, que pueden mielinizar varios axones.
- Son clave en la regeneración axonal, ya que tras una lesión pueden desdiferenciarse, fagocitar los restos de mielina dañada y guiar el rebrote axonal.
- Expresan proteínas específicas del SNP, como la proteína P0, que estabiliza la mielina periférica.

Las células de Schwann son las encargadas de mielinizar los axones del SNP. Cada célula envuelve un segmento de un solo axón, formando una vaina de mielina que permite la conducción rápida del impulso nervioso.

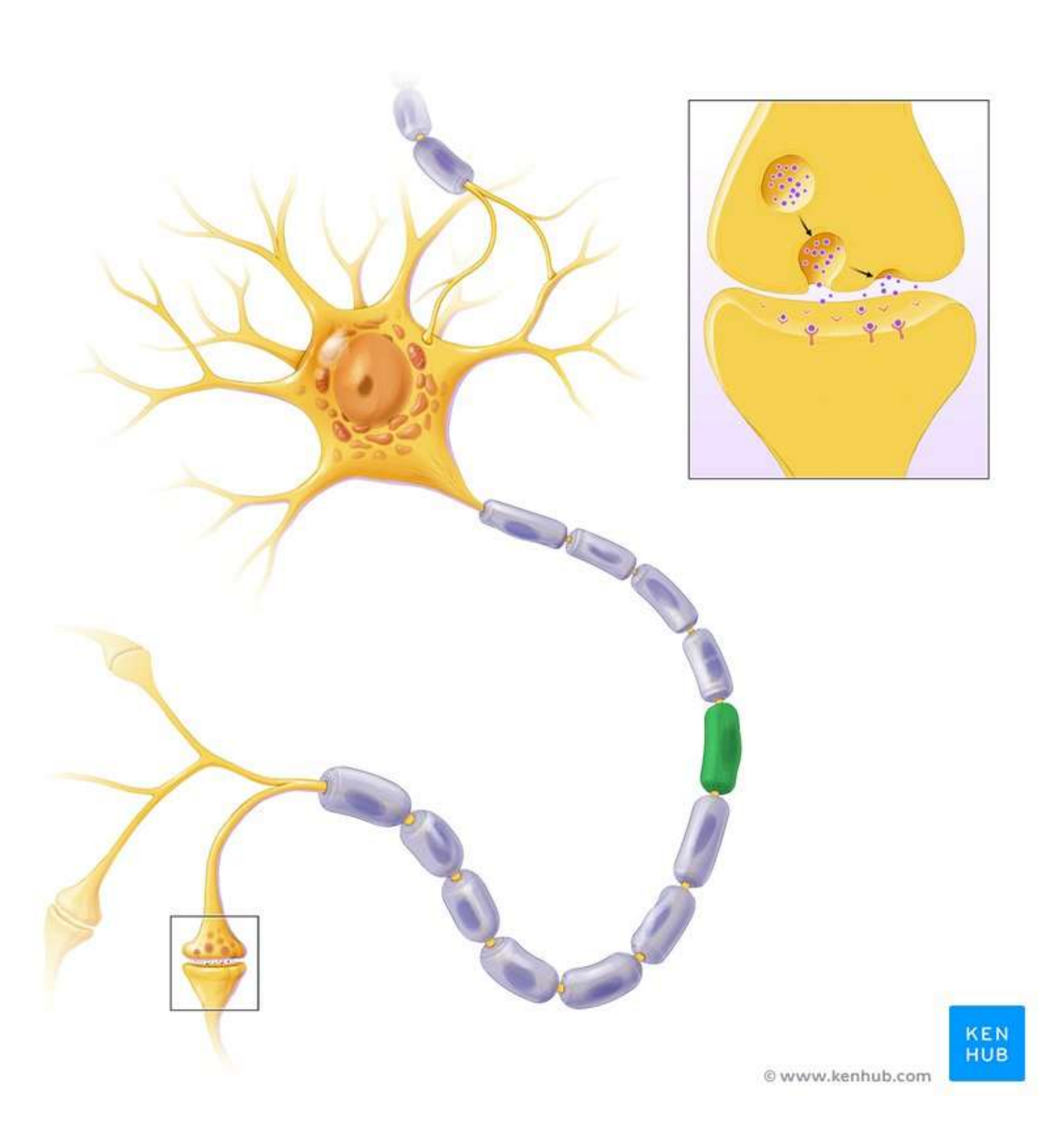


CÉLULAS RESPONSABLES DE LA MIELINIZACIÓN

CÉLULAS DE SCHWANN EN EL SISTEMA NERVIOSO PERIFÉRICO (SNP)

FUNCIÓN EN EL SNP:

- Aceleran la transmisión del impulso nervioso mediante la conducción saltatoria.
- Forman tubos de regeneración en caso de lesión nerviosa, favoreciendo la reparación del axón.
- Participan en la modulación de la actividad neuronal a través de interacciones con el entorno axonal.



FORMACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA MIELINIZACIÓN

DESARROLLO DE LA MIELINIZACIÓN EN EL SER HUMANO

El proceso de mielinización sigue un patrón espacio-temporal, iniciándose en áreas más primitivas del sistema nervioso y extendiéndose gradualmente a regiones más complejas.

ETAPA PRENATAL:

- Comienza en el tercer trimestre de gestación, con la mielinización de la médula espinal y el tronco encefálico, estructuras esenciales para funciones vitales como la respiración y los reflejos.

INFANCIA TEMPRANA:

- En los primeros años de vida, la mielinización se expande hacia los ganglios basales, el cerebelo y la sustancia blanca del cerebro.
- La mielinización de las vías motoras y sensoriales permite el desarrollo de habilidades como la coordinación motora, el lenguaje y la percepción sensorial.

NIÑEZ Y ADOLESCENCIA:

- Durante esta etapa, se mielinizan áreas corticales superiores, como la corteza prefrontal, responsable de funciones cognitivas avanzadas (planificación, toma de decisiones, control de impulsos).
- Este proceso continúa hasta la adultez temprana, facilitando la maduración del cerebro.

REGULACIÓN GENÉTICA Y MOLECULAR DE LA MIELINIZACIÓN

La mielinización es un proceso complejo que depende de múltiples factores genéticos y señales moleculares que regulan la diferenciación y actividad de los oligodendrocitos y las células de Schwann.

FACTORES DE TRANSCRIPCIÓN CLAVE:

- **SOX10:** Necesario para la diferenciación de oligodendrocitos y células de Schwann.
- **Olig1 y Olig2:** Regulan la proliferación y maduración de los precursores de oligodendrocitos.
- **Krox20 (EGR2):** Esencial para la mielinización en el SNP, regulando la expresión de genes de mielina.

SEÑALES EXTRACELULARES Y VÍAS DE SEÑALIZACIÓN:

- **Neuregulina-1 (NRG1) y su receptor ErbB:** Promueven la diferenciación de las células de Schwann y la formación de mielina en el SNP.
- **Vía de Notch:** Inhibe la mielinización en etapas tempranas, asegurando que las células se desarrollen en el momento adecuado.
- **Factores neurotróficos (BDNF, NGF):** Favorecen la maduración de oligodendrocitos y células de Schwann.

FACTORES EPIGENÉTICOS Y AMBIENTALES:

- **Metilación del ADN y modificaciones de histonas:** Regulan la activación e inhibición de genes involucrados en la mielinización.
- **Experiencias tempranas y estímulos sensoriales:** La plasticidad neuronal y el aprendizaje influyen en la mielinización, favoreciendo la formación de nuevas conexiones sinápticas.

CONDUCCIÓN DEL IMPULSO NERVIOSO EN NEURONAS NO MIELINIZADAS

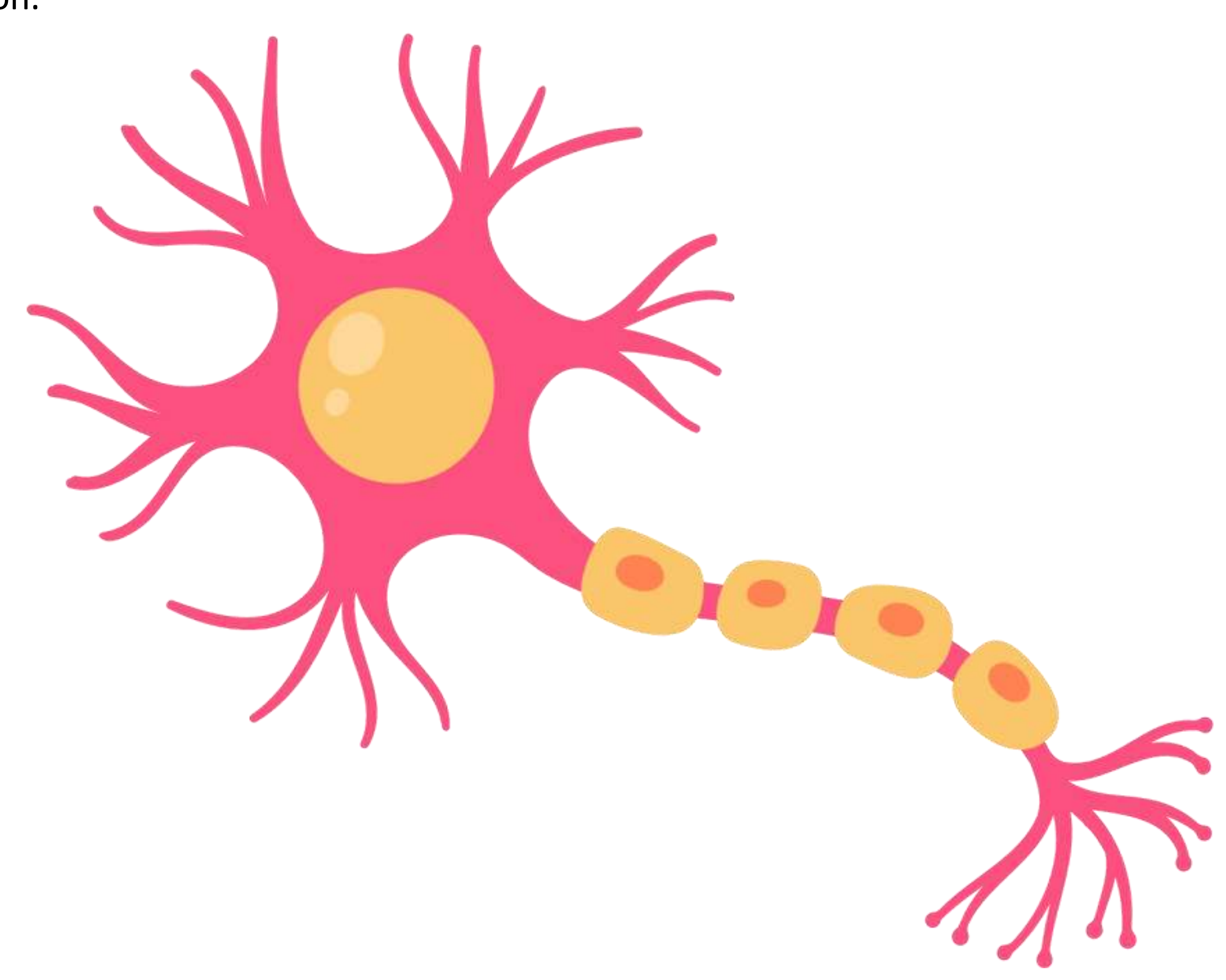
En las neuronas no mielinizadas, la propagación del potencial de acción ocurre de manera continua a lo largo de la membrana del axón.

CARACTERÍSTICAS DE LA CONDUCCIÓN EN NEURONAS NO MIELINIZADAS

- **Ocurre de manera continua:** El impulso nervioso se propaga punto por punto a lo largo del axón, activando sucesivamente los canales de sodio y potasio en cada segmento de la membrana.

- **Es más lenta:** La señal avanza progresivamente, lo que hace que la conducción sea mucho más lenta en comparación con las neuronas mielinizadas.

- **Requiere más energía:** Se activan más bombas de sodio-potasio para restablecer el potencial de reposo después de cada despolarización, lo que implica un mayor gasto energético en forma de ATP.

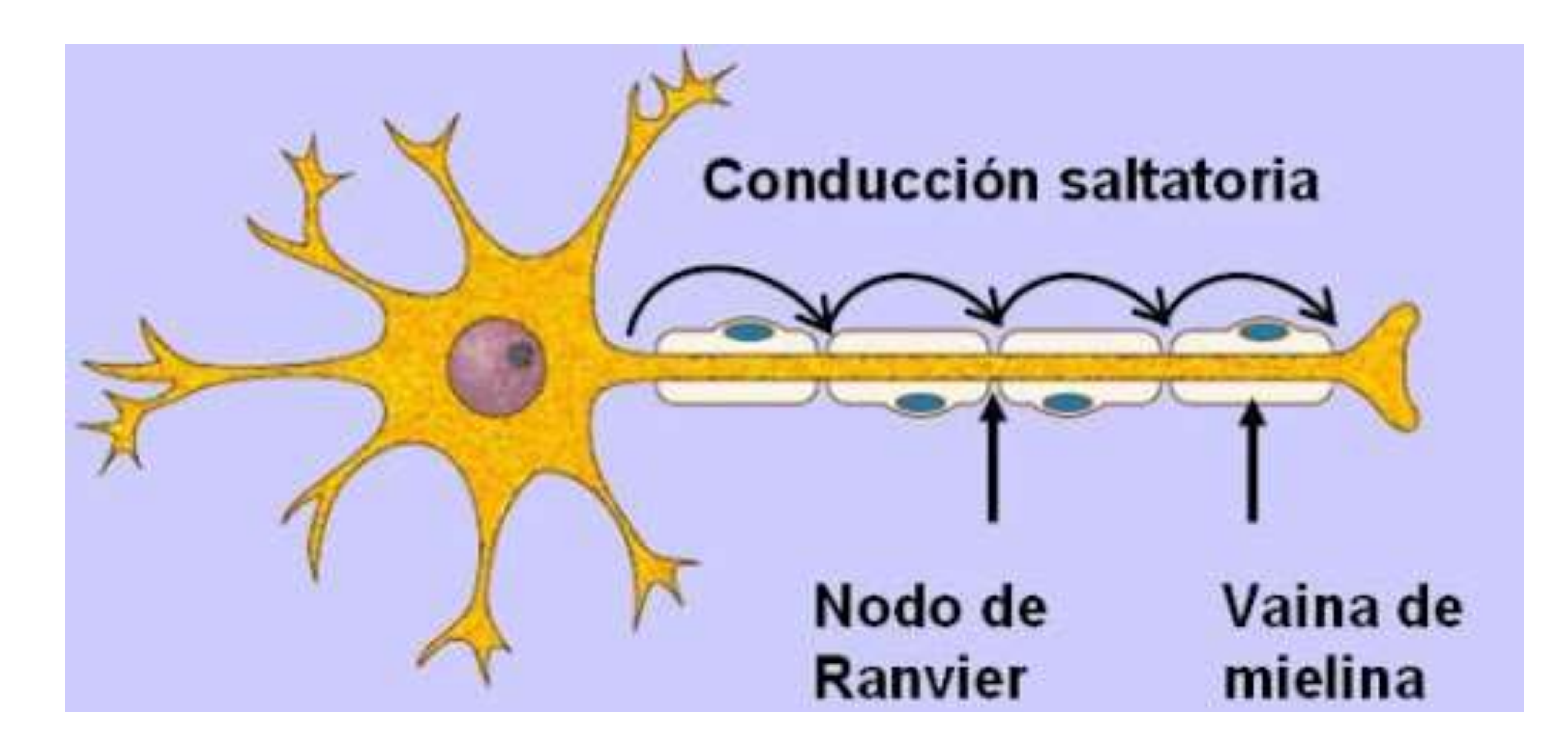


CONDUCCIÓN DEL IMPULSO NERVIOSO EN NEURONAS MIELINIZADAS

En las neuronas mielinizadas, la conducción del impulso nervioso es saltatoria, lo que significa que el potencial de acción "salta" de un nodo de Ranvier a otro, en lugar de propagarse continuamente.

CARACTERÍSTICAS DE LA CONDUCCIÓN EN NEURONAS MIELINIZADAS:

- **Ocurre de manera saltatoria:** La mielina aísla el axón y evita la fuga de iones, permitiendo que el impulso nervioso se propague de manera más eficiente entre los nodos de Ranvier, donde se concentran los canales de sodio.
- **Es más rápida:** La conducción saltatoria permite que los impulsos nerviosos viajen hasta 100 veces más rápido que en axones no mielinizados (hasta 120 m/s en algunas fibras).
- **Requiere menos energía:** Se abren menos canales iónicos y se activa menos la bomba de sodio-potasio, reduciendo el gasto de ATP.



COMPARACIÓN ENTRE LA CONDUCCIÓN EN NEURONAS MIELINIZADAS Y NO MIELINIZADAS

	NEURONAS NO MIELINIZADAS	NEURONAS MIELINIZADAS
TIPO DE CONDUCCIÓN	Continua	Saltatoria
VELOCIDAD	Lenta (0.5 - 2 m/s)	Rápida (hasta 120 m/s)
GASTO ENERGÉTICO	Alto (más uso de la bomba Na+/K+)	Bajo (menor activación de canales iónicos)
UBICACIÓN TÍPICA	Fibras del dolor crónico, sistema digestivo	Fibras motoras y sensoriales rápidas

FACTORES QUE AFECTAN LA MIELINIZACIÓN Y LA CONDUCCIÓN NERVIOSA

La eficiencia de la conducción nerviosa no solo depende de la presencia de mielina, sino también de diversos factores anatómicos y fisiológicos que influyen en la velocidad y efectividad de la transmisión del impulso nervioso.

GROSOR DE LA FIBRA AXONAL Y SU RELACIÓN CON LA VELOCIDAD DE CONDUCCIÓN

El diámetro del axón es un factor determinante en la velocidad de conducción nerviosa.

PRINCIPIO CLAVE: Cuanto mayor es el diámetro del axón, mayor es la velocidad de conducción debido a la reducción de la resistencia interna al flujo de iones.

EXPLICACIÓN FISIOLÓGICA:

- Los axones más gruesos tienen menos resistencia interna, lo que facilita el flujo de corriente a lo largo del axón.
- En neuronas mielinizadas, los axones más gruesos tienen mayor separación entre los nodos de Ranvier, permitiendo impulsos más rápidos.
- En neuronas no mielinizadas, los axones más gruesos pueden compensar parcialmente la falta de mielina al facilitar una conducción continua más eficiente.

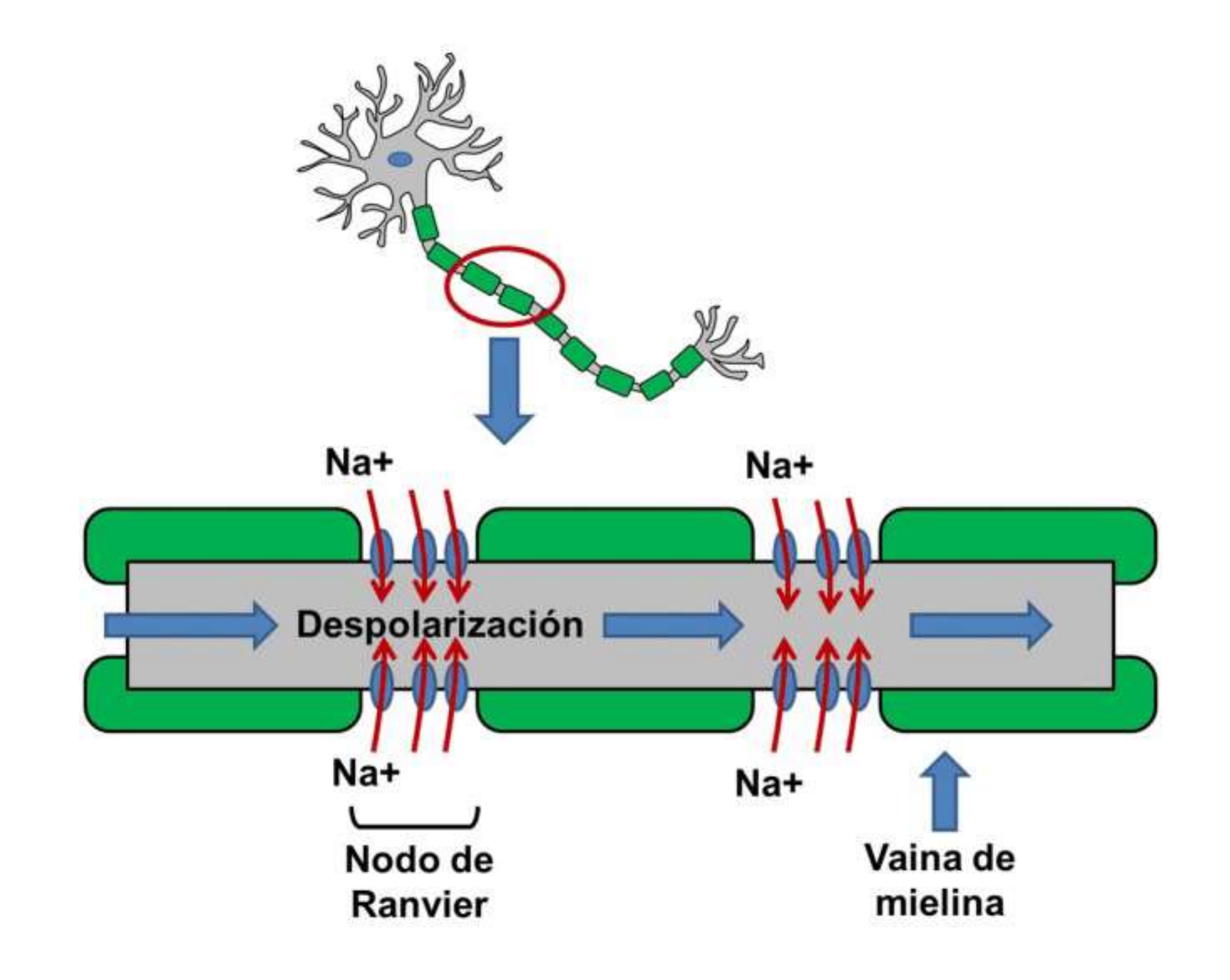
LONGITUD ENTRE NODOS DE RANVIER Y SU INFLUENCIA EN LA CONDUCCIÓN

Los nodos de Ranvier son espacios sin mielina a lo largo de los axones mielinizados donde se concentran los canales de sodio para la regeneración del potencial de acción.

PRINCIPIO CLAVE: Una distancia óptima entre nodos es esencial para una conducción eficiente sin pérdida de señal.

EXPLICACIÓN FISIOLÓGICA:

- SI la distancia entre nodos es muy corta: Se pierden los beneficios de la conducción saltatoria, reduciendo la velocidad de transmisión.
- Si la distancia entre nodos es demasiado larga: El impulso eléctrico puede debilitarse antes de alcanzar el siguiente nodo, afectando la transmisión del potencial de acción.



TEMPERATURA Y SU EFECTO EN LA VELOCIDAD DE CONDUCCIÓN NERVIOSA

La temperatura influye en la movilidad de los iones y en la función de los canales iónicos, afectando directamente la conducción nerviosa.

PRINCIPIO CLAVE:

- **A bajas temperaturas:** La conducción nerviosa se ralentiza debido a la menor movilidad iónica y al retraso en la apertura/cierre de los canales de sodio y potasio.
- **A temperaturas elevadas:** Puede haber hiperexcitabilidad neuronal, pero también riesgo de desnaturalización de proteínas.



EXPLICACIÓN FISIOLÓGICA:

- **DISMINUCIÓN DE TEMPERATURA (HIPOTERMIA):**
  - Reduce la velocidad de apertura de los canales de sodio, retrasando la despolarización.
  - Afecta la actividad enzimática, disminuyendo el consumo de ATP necesario para mantener la homeostasis iónica.
  - En casos extremos, puede provocar bloqueo de la conducción nerviosa (parálisis **temporal).**
- **AUMENTO DE TEMPERATURA (FIEBRE, HIPERTERMIA):**
  - Acelera la conducción nerviosa hasta cierto punto.
  - En exceso, puede inducir desbalance iónico, afectando la excitabilidad neuronal y aumentando el riesgo de convulsiones.



GRACIAS

